

Vplyv zmeny klímy na zložky životného prostredia

Slovenská republika ako krajina Prílohy I Rámcového dohovoru OSN o zmene klímy (dohovor) a krajina Prílohy B ku Kjótskemu protokolu je povinná plniť celý rad záväzkov v oblasti monitorovania aktuálneho stavu tvorby emisií skleníkových plynov, vyhodnocovania redukčných účinkov prijatých legislatívnych, technických a iných opatrení, ale aj hodnotenia negatívnych účinkov zmeny klímy na zložky životného prostredia. Okrem toho musí Slovensko, na základe prijatého záväzku podľa článku 4, ods.1(f) dohovoru, v primeranom rozsahu brať do úvahy dôsledky zmeny klímy a realizovať adaptačné opatrenia, ktorých cieľom je minimalizovať nepriaznivé účinky zmeny klímy na sociálno-ekonomickú oblasť, zdravie ľudí a kvalitu životného prostredia. Krajina je povinná na základe výsledkov výskumu, systematických pozorovaní a podrobnej analýzy zmien zložiek životného prostredia priebežne znižovať neistoty pri odhade nepriaznivých účinkov (rozsah, veľkosť a časový priebeh) a súčasne aktualizovať vhodné adaptačné opatrenia. O aktivitách a pokroku v týchto oblastiach je krajina povinná informovať sekretariát dohovoru v rámci predkladaných národných správ o zmene klímy a správ o dosiahnutom pokroku pri plnení záväzkov podľa Kjótskeho protokolu. Správa prináša súhrn výsledkov riešenia strategickej úlohy, ktorá prebiehala v dvoch fázach. V prvej fáze boli zhodnotené doterajšie dôsledky a citlivosť jednotlivých zložiek na zmenu klímy vrátane analýzy scenárov budúceho vývoja, ktoré modelovali odhad negatívnych vplyvov na našom území pre scenáre rastu emisií skleníkových plynov a zvyšovania teploty. V ďalšej fáze bola navrhnutá metodika na stanovenie nákladov a možných sociálno-ekonomických dôsledkov prijatých mitigačných a adaptačných opatrení, ktorá bola následne prakticky aplikovaná v sektoroch lesného (zalesňovanie) a vodného hospodárstva (zásobovanie obyvateľstva). Vzhľadom na to, že uvedená problematika nebola doteraz v rámci Slovenska podrobne sledovaná, bude potrebné metodiku aplikovať aj na ďalšie oblasti a na základe získaných výstupov definovať vzájomnú koreláciu nepriaznivých dôsledkov a nákladov na opatrenia potrebných na ich eliminovanie. Údaje o nákladoch na opatrenia, ale aj o výške nákladov, ktoré by vznikli v prípade, že opatrenia nebudú realizované, by mali slúžiť na návrh odporúčaní a priorit pre rozhodovací proces. Pri riešení projektu boli použité dlhoročné výsledky výskumu zmien a variability klímy na Slovensku spolu s odhadmi zraniteľnosti vybraných sektorov v dôsledku klimatických zmien prevzaté zo správ Národného klimatického programu SR, ktoré sú publikované v Štvrtej národnej správe SR o zmene klímy a Správe o dosiahnutom pokroku pri plnení Kjótskeho protokolu. Návrh metodiky pre hodnotenie vplyvu zmeny klímy na zložky životného prostredia spolu s ilustračnými príkladmi jej použitia pre lesné a vodné hospodárstvo vypracovala firma LARIVE, s. r. o., v rámci riešenia neinvestičného environmentálneho projektu MŽP SR.



foto: Juraj Rizman

Očakávané dôsledky zmeny klímy, odhad zraniteľnosti a adaptačné opatrenia pre zložky životného prostredia

Zmeny a variabilita klímy v historických rokoch

V 20. storočí sa na Slovensku pozoroval rast priemernej ročnej teploty vzduchu asi o 1,1 °C (v zime ešte viac) a pokles ročných úhrnov atmosférických zrážok o 5,6 % v priemere (na juhu SR bol pokles aj viac ako 10 %, na severe a severovýchode ojedinele je rast do 3 % za celé storočie). Zaznamenaný bol aj výrazný pokles relatívnej vlhkosti vzduchu (do 5 %) a pokles snehovej pokrývky takmer na celom území, s výnimkou najvyšších horských oblastí. Aj charakteristiky potenciálneho a aktuálneho výparu, vlhkosti pôdy, globálneho žiarenia a radiačnej bilancie potvrdzujú, že najmä juh Slovenska sa postupne vysušuje (rastie potenciálna evapotranspirácia a klesá vlhkosť pôdy), no v charakteristikách slnečného žiarenia nenastali podstatné zmeny (okrem prechodného zníženia v období rokov 1965 - 1985). Podobný vývoj pokračuje aj po roku 2000 ako ilustruje obr. 1.

Reprezentatívnou stanicou pre Slovensko je Hurbanovo, ktoré patrí medzi najlepšie meteorologické stanice v strednej Európe s dostatočne dlhým a kvalitným radom pozorovaní. V období 1871 - 2004 sa dosiahol na tejto stanici lineárny trend rastu ročných priemerov teploty vzduchu asi o 1,4 °C. Na obrázkoch 1 a 2 (pozri prílohu, s. 13) je znázornený trend teploty vzduchu v Hurbanove pre teplý a chladný polrok v období 1900 - 2004 a trend územných úhrnov atmosférických zrážok na Slovensku vypočítaný z 203 staníc v období 1900 - 2004. Teplotný trend z Hurbanova je charakteristický aj pre iné lokality na Slovensku, zrážkové trendy sa o málo líšia medzi juhom a severom, resp. medzi juhozápadom a severovýchodom Slovenska. Aj z týchto grafov je zreteľne vidieť mimoriadny vývoj teploty vzduchu a úhrnov zrážok v posledných desaťročiach na Slovensku.

Scenáre zmeny klímy na Slovensku

Doteraz sa na Slovensku spracovali výstupy z deviatich modelov všeobecnej cirkulácie atmosféry (GCMs)

zo štyroch svetových klimatických centier, pričom najväčší dôraz sa zatiaľ kládol na modely CCCM 2000 a GISS 1998. Pri regionalizácii výstupov GCMs sa využíva metóda tzv. štatistického downscalingu, pri ktorej sa modifikácia výstupov globálnych klimatických modelov do jednotlivých zvolených bodov na území Slovenska robí pomocou štatistických metód s použitím súborov nameraných údajov. Scenáre klimatickej zmeny sa týkajú nielen ročného chodu jednotlivých klimatických prvkov pre niektoré budúce časové horizonty, ale aj časových radov týchto prvkov až do roku 2100. K dispozícii sú vypracované scenáre pre viaceré klimatické prvky, ako napr. teplotu vzduchu, atmosférické zrážky, globálne žiarenie, vlhkosť vzduchu. V tabuľkách 1 a 2 (pozri prílohu, s. 12 - 13) sú uvedené údaje z aktuálne platných scenárov zmien mesačných priemerov teploty vzduchu a mesačných úhrnov zrážok pre stred Slovenska a 50-ročné časové horizonty 2010 (1986 - 2035), 2030 (2006 - 2055) a 2075 (2051 - 2100) podľa výstupov troch modelov GCMs. Teplotné scenáre je možné použiť pre celé Slovensko, zrážkové scenáre sa líšia pri jednotlivých staniaciach aj o viac ako 10 % (v zime väčší rast úhrnov na severe a v lete väčší pokles na juhu). Okrem metódy založenej na výstupoch klimatických modelov sa na Slovensku rozvíjala aj analógová metóda prípravy scenárov klimatickej zmeny. Pre naše podmienky sa zdá byť najvýhodnejšou kombinovaná metóda, ktorá využíva spoľahlivejšie scenáre na báze GCMs (zväčša teplotné a zrážkové) a pre zostávajúce klimatické prvky sa pripravujú scenáre ako analógy korelačnou alebo regresnou metódou. Ako príklad sa môže uviesť snehová pokrývka, vietor, výpar, prípadne pôdna vlhkosť a odtok, ktorých scenáre, vypracované iba na základe výstupov GCMs, nie sú pre oblasť Slovenska dostatočne spoľahlivé.

Hydrologický cyklus, vodné zdroje a vodné hospodárstvo

Na určovanie vplyvu klimatickej zmeny na hydrologický

cyklus boli použité metódy matematického modelovania možných zmien hydrologického režimu. Vychádzali pritom zo systémovej paradigmy, v rámci ktorej sa klimatické charakteristiky (najčastejšie teplota vzduchu a atmosférické zrážky) považujú za vstupné veličiny do hydrologického systému; následne sa určovala zmena hydrologického režimu v dôsledku očakávaných zmien týchto vstupov pomocou niektorého z hydrologických bilančných modelov. Na konštrukciu priestorového obrazu budúcich možných zmien dlhodobého priemerného ročného odtoku bol s využitím prostredia a metód GIS vytvorený priestorový model, ktorý vychádza zo závislosti medzi priemerným ročným odtokom a priemerným ročným úhrnom zrážok a teplotou vzduchu, resp. indexom priemerného ročného potenciálneho výparu. Na základe rôznych scenárov novej zmeny úhrnu zrážok vo vybraných klimatických staniách boli vytvorené mapy zmeny dlhodobého priemerného ročného úhrnu zrážok voči zvolenému referenčnému obdobiu (1951 - 1980). Tieto spolu s informáciou o novej zmene dlhodobej priemernej ročnej teploty vzduchu slúžili následne ako vstupné mapy pre Turcov model na výpočet priestorových scenárov zmeny dlhodobého priemerného ročného odtoku. Metódami mapovej algebry boli potom vypočítané územné priemery percentuálnej zmeny odtoku pre vybrané oblasti a povodia územia Slovenska. Pre modelovanie odtoku z povodia v mesačnom časovom kroku bol použitý matematický model hydrologickej bilancie, vyvinutý na Katedre vodného hospodárstva krajiny SvF STU v Bratislave. Ako porovnávacie obdobie pre odhad možných zmien klímy bolo vybrané obdobie 1951 - 1980.

Zhodnotenie zmien dlhodobého priemerného ročného prietoku sa robilo pre 4 scenáre, CCCM97, GISS98, SD a WP. Najoptimistickejší bol scenár CCCM97, zatiaľ čo najvyšší pokles odtoku vykazoval scenár WP. V ďalšom sú predstavené výsledky týchto vybraných scenárov. Klimatický scenár CCCM97 predpokladá rast aj pokles úhrnu zrážok a rast priemernej ročnej teploty vzduchu pre celé územie Slovenska pre všetky časové horizonty. Aj napriek uvažovanému miernemu nárastu úhrnu zrážok sa podľa tohto klimatického scenára predpokladá, že väčšina územia Slovenska bude poznačená poklesom odtoku (obr. 5, pozri prílohu, s. 14). V časovom horizonte 2010 sa bude takmer 64 % plochy územia nachádzať v pásme poklesu -5 až 20 %, v časovom horizonte 2075 viac ako 77 % plochy územia Slovenska v pásme poklesu -20 až -40 %. Obdobne sa pokles odtoku prejaví aj v sledovaných výškových pásmach, kde sa zachovanie súčasného stavu predpokladá len v

vané časové horizonty. Podľa tohto scenára bude pravdepodobne celé územie Slovenska poznačené znížením dlhodobého priemerného ročného odtoku, pričom v časovom horizonte 2010 sa predpokladá pokles odtoku v kategórii od -5 % do 20 % na viac ako 81 % plochy, v horizonte 2030 na viac ako 87 % územia v kategórii od -20 % do 40 % a v horizonte 2075 sa takmer 80 % plochy územia Slovenska bude nachádzať v pásme poklesu väčšom ako -40 %. V rámci zhodnotenia zmeny dlhodobého priemerného ročného odtoku vo výškových pásmach sa najvýraznejší pokles môže prejavíť v oblasti nížin, kde sa v časovom horizonte 2010 predpokladá podľa tohto klimatického scenára pokles o asi -20 %. Pokles odtoku smerom k časovému horizontu 2075 sa v tomto výškovom pásme prejaví ďalším výraznejším poklesom, o viac ako 47 % oproti odtoku referenčného obdobia. Pre výškové pásmo nad 1 500 m n. m. sa pokles prejaví miernejšie, od cca -6 % v horizonte 2010, po viac ako -18 % v časovom horizonte 2075.

Uvedené výsledky je potrebné interpretovať s náležitou opatrnosťou a zohľadňovať pritom aj neistoty metodického prístupu. Nepočíta sa s možnosťou ani postupnej, ani náhle zmeny klímy, porovnávajú sa dva kvázistacionárne modelové stavy. Obdobne nie je možné porovnávať priamo veľkosť odhadu zmien podľa oboch metodík. Za smerodajné skôr navrhujeme považovať porovnanie tendencií zmien. Vzhľadom na existujúce a očakávané zmeny v časových radoch hydrologických údajov, výskyt extrémov v poslednom období, SHMÚ opätovne zhodnotil údaje zo svojich databáz. Výstupom boli hydrologické charakteristiky pre toky na území SR - priemerné ročné prietoky, M-denné prietoky za nové referenčné obdobie 1961 - 2000 a aktualizácia N-ročných maximálnych prietokov. Uvedené charakteristiky slúžia, resp. budú slúžiť pre poskytovanie hydrologických údajov pre návrh, výstavbu a prevádzku vodohospodárskych zariadení a objektov na tokoch, cestných a železničných telies, na úpravu tokov, protipovodňovú ochranu, ochranu a tvorbu životného prostredia. Pri analýze vplyvu klimatickej zmeny na hydrologický cyklus sa hodnotí len vplyv na priemerné mesačné odtoky. V prácach nadväzujúcich na predkladanú správu bude potrebné sa venovať aj zmenám minimálneho odtoku. Pri uvažovaných klimatických zmenách klesajúca veľkosť minimálneho odtoku a nárast dĺžky životného prostredia aj na hospodárstvo.

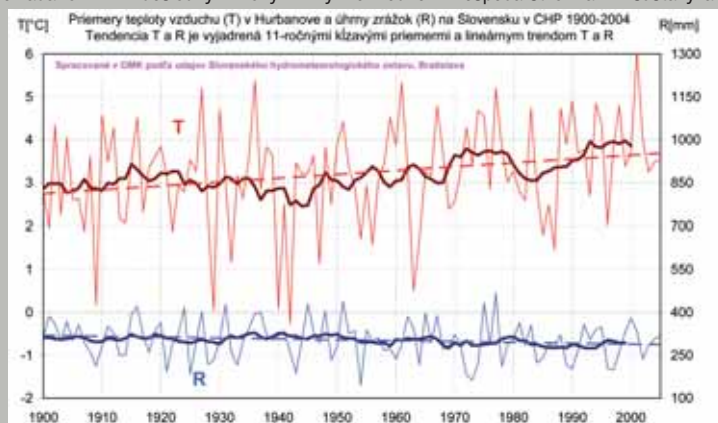
Rámcové adaptačné opatrenia na zmiernenie dôsledkov zmeny klímy

Smerovanie adaptačných opatrení na nepriaznivé dôsledky zmeny klímy vo vodnom hospodárstve na

Slovensku sa formuluje len pomerne všeobecne. Popri neistotách hodnotenia dôsledkov je potrebné vnímať aj širšie politické, spoločenské, ekologické, ekonomické, technologické a iné súvislosti. V súčasnosti sa preto odporúča postup, ktorý preferuje také rozhodnutia, ktoré vo svojom dôsledku znižujú hrozbu negatívnych dôsledkov klimatickej zmeny a zároveň zohľadňujú súčasné preferencie trvalo udržateľného rozvoja spoločnosti, tvorbu a ochranu životného prostredia a integrované hospodárenie s vodou. Pre tento spôsob adaptácie sa zaužíval názov „no regret policy“. Jeho aplikácia si vyžaduje efektívnu koordináciu rezortov a dostatok informácií o možných dôsledkoch zmeny klímy vo vodnom hospodárstve, vrátane neistôt v ich určovaní, na úrovni rozhodovacieho procesu. Základné opatrenia na zmiernenie možných negatívnych dôsledkov na vodné hospodárstvo sa dotýkajú viacerých oblastí, z nich najmä: priame opatrenia na riadenie spotreby vody, nepriame nástroje ovplyvňujúce správanie spotrebiteľov, inštitucionálna zmena pre lepšie hospodárenie s vodou a zlepšenie prevádzky existujúcich vodohospodárskych sústav.

V prvej oblasti by to znamenalo redukciu špecifických potrieb pitnej vody na obyvateľa technickými prostriedkami, znižovanie strát vo výrobe a rozvoze pitnej vody, podporovanie zavádzania nových technológií v priemysle, využívanie zrážkovej a inej vody na úžitkové ciele, budovanie delených vodovodov v malých sídliskách a pod. Druhá oblasť by mala tieto opatrenia podporiť aj pomocou finančných nástrojov, akými sú dotácie, dane, poplatky a pokuty vo vodnom hospodárstve. Zároveň bude potrebné posilniť informovanosť verejnosti o dôsledkoch klimatických zmien na kvalitu života všeobecne a na problematiku vodných zdrojov a následné opatrenia zvlášť. Informačná a vzdelávacia politika by mala byť spojená s výchovou k zvýšenému ekologickému povedomiu spotrebiteľov voči vodným zdrojom. V tretej oblasti by sa mal riešiť systémový problém, keďže v súčasnosti nie sú k dispozícii koncepčné a strategické dokumenty v oblasti vodného hospodárstva a ani v územno-plánovacom procese a pri tvorbe a ochrane krajiny, ktoré by sa priamo zaoberali potrebou a výberom adaptačných opatrení. Pri vodných zdrojoch, ktoré sú už vybudované, bude navyše potrebné prehodnotiť ich udržateľné využívanie v nových klimatických podmienkach. Štvrtú skupinu môžeme rozdeliť do niekoľkých častí. Prvá sa týka optimalizácie využívania a riadenia existujúcich vodohospodárskych a vodárenských sústav. Zabezpečenosť dodávky vody podľa dnešných predstáv sa máloedy určovala pre vodohospodárske sústavy ako celok. Preto by bolo potrebné preskúmať zraniteľnosť existujúcich vodohospodárskych sústav ako celku v kritických situáciách.

Doteraz odhadnuté tendencie zmien hydrologického režimu poukazujú na zvýšenú potrebu prerazovať odtok v priestore medzi severom a juhom, prerazovať odtok medzi jednotlivými rokmi a prerazovať odtok v priebehu roka. Je potrebné počítať aj s možnosťou potreby kompenzovať pokles výdatnosti zdrojov vody, najmä v nížinných častiach na strednom a východnom Slovensku. Potrebné môžu byť najmä nádrže s dlhodobým regulovaním odtoku a pri plánovaní ich umiestnenia je potrebné vychádzať z priestorovo



Obr. 1 Trend priemernej teploty vzduchu (T) v Hurbanove a úhrny zrážok (R) na Slovensku v HP 1900-2004. Tendencia T a R je vyjadrená 11-ročnými klzavými priemermi a lineárnym trendom T a R. v SR (z 203 stanic) za teplé polroky (IV - IX) obdobia 1900 - 2004

Klimatický scenár SD predpokladá na celom území Slovenska pokles priemerného ročného úhrnu zrážok a rast priemernej ročnej teploty vzduchu pre všetky uvažo-

diferencovaných účinkov klimatickej zmeny. Tretia časť sa týka monitorovania prebiehajúcich procesov v hydrosfére. Je potrebné posilniť existujúce systematické sledovania vodohospodárskej bilancie kvantity a kvality vody aj v povodiach menších mierok, aby bola možnosť identifikovať tendencie v možnom úbytku vody v čase, a aby bola možnosť formulovať strategické rozhodnutia nových priorít vodného hospodárstva, najmä počas sucha.

Štvrtá časť sa týka hospodárenia s vodou v krajine. Systematické realizovanie opatrenia v povodiach s plošným účinkom je zamerané na všeobecné a trvalé zlepšenie podmienok odtoku a na zadržanie vody v krajine, zníženie možných negatívnych prejavov extrémnych prietokov a na zlepšenie kvality vôd.

Poľnohospodárska výroba na Slovensku

Zmena fenologických pomerov

Zvýšené teploty urýchľujú intenzitu fyziologických procesov rastu a vývinu rastlín, menia nástupy fenofáz, a tým aj dĺžky fenofázových intervalov a celých vegetačných období. Pre vegetačné obdobie ohraničené fyziologicky významnými teplotami všeobecne platí skorý nástup a posun ukončenia, a tým aj ich predĺženie. Pre hlavné vegetačné obdobie (ohraničené $T \geq 10^\circ\text{C}$) sa predpokladá k roku 2075 predĺženie na južnom Slovensku o 43 dní, v severných poľnohospodársky využívaných častiach až o 84 dní. Názorný príklad zmien fenologických pomerov vyplýva z analýz kapusty hlávkovej bielej podľa odrôd s rôznou rýchlosťou dosiahnutia technickej zrelosti. Pre skoré odrody sa predpokladá skorší začiatok vegetácie až o 31 dní, oneskorenie zberu neskorých odrôd cca o 16 dní, a teda predĺženie celoročnej vegetačnej periódy o 47 dní.

Zmena agroklimatických podmienok

Zmena evapotranspirácie. K najdôležitejším charakteristikám patrí evapotranspiračný deficit vyjadrený rozdielom potenciálnej a aktuálnej evapotranspirácie ($d_e = E_0 - E$ v mm). K roku 2075 sa predpokladá zvyšovanie d_e za veľké vegetačné obdobie ($T \geq 5^\circ\text{C}$) na južnom Slovensku o 126 mm, na severe Slovenska až o 7-násobok súčasného stavu. Z hľadiska ekosystémov v klimatických podmienkach Slovenska je táto skutočnosť závažná, pretože vysušenie prostredia nastane pravdepodobne v skorších mesiacoch roka, nakoľko zrážkové scenáre predpokladajú v druhej polovici vegetačného obdobia zrážkové úhrny nižšie ako tomu bolo v minulosti. To na väčšine území Slovenska v nadmorskej výške do 400 m n. m. spôsobí nedostatok vody v pôdnom profile pôd s nízkou hladinou podzemných vôd a teda silne závislých od atmosférických zrážok.

Zmeny podmienok prezimovania. Zima je obdobie, v ktorom na rastliny pôsobí komplex faktorov počasia. Agroklimatické analýzy ukázali, že podmienky prezimovania interakčne ovplyvňujú extrémne minimálne teploty, výška a trvanie snehovej pokrývky a hĺbka premrzania pôdy. Pri analýze možných dôsledkov očakávanej zmeny klímy je potrebné uvažovať s fyzikálnymi mechanizmami, ktoré môžu viesť k postupným zmenám zložiek rovnice vodnej bilancie. Sú to hlavne zmenšovanie zásob snehu, ktoré tvoria časť úhrnov zimných zrážok, skorší nástup kladných teplôt na jar, čo zapríčini intenzívnejšie topenie sa snehovej pokrývky a rastúci trend úhrnov evapotranspirácie v zimných mesiacoch. Podľa scenárov modelu CCCM sa očakáva, že na Podunajskej a Záhorскеj nížine budú priemerné mesačné teploty



foto: Juraj Rizman

vzduchu kladné počas celého roka už od časového horizontu 2030. Na južnom a východnom Slovensku takéto teplotné pomery očakávame až k roku 2075. Kotlinové polohy stredného a severného Slovenska sa budú vyznačovať zápornými januárovými teplotami až k roku 2075. V polohách nad 800 m očakávame záporné mesačné teploty od decembra do februára aj k roku 2075.

Zmeny agroklimatického produkčného potenciálu

Potenciálnou úrodou plodiny sa chápe úroda odpovedajúca maximálnemu využitiu faktorov vonkajšieho prostredia alebo úrod dosiahnutých pri maximálnej rýchlosti fotosyntézy. Z faktorov vonkajšieho prostredia k rozhodujúcim patrí príkon fotosynteticky aktívneho žiarenia do biologickej sústavy. Podľa jeho časovopriestorových zmien sa menia aj potenciálne úrody plodín. Zmeny fotosynteticky aktívneho žiarenia priamo nadväzujú na predlžovanie veľkého vegetačného obdobia, prípadne hlavného vegetačného obdobia. Napríklad podľa scenára CCCM sa v hlavnom vegetačnom období predpokladá zvýšenie produkčného potenciálu k časovému horizontu 2010 o 8 %, 2030 o 19 % a 2075 o 47 %.

Z hľadiska vodnej bilancie podmienenej úhrnom zrážok, teplotou vzduchu, vlhkosťou vzduchu i ďalších faktorov, predpokladá sa zvyšovanie ročného deficitu evapotranspirácie. Pre nižšie – južné časti Slovenska (klimatická stanica Hurbanovo) sa predpokladá v podmienkach zmenenej klímy zvýšenie deficitu o 126 mm, to je o 50 %. Pre vyššie položené – severné časti Slovenska (klimatická stanica Liptovský Hrádok) sa predpokladá v podmienkach zmenenej klímy zvýšenie deficitu len o 66 mm, čo však v týchto polohách predstavuje nárast o 111 %. Podľa rastovej krivky generovanej modelom DSSAT3 len zvýšená koncentrácia CO_2 na úroveň 660 ppm spôsobí zvýšenie nárastu fytomasy až o 35 %. Priebeh rastových kriviek fytomasy pšenice letnej formy ozimnej v zmenených klimatických podmienkach je potom ovplyvnený okrem koncentrácie CO_2 aj teplotnými a vlhkovými pomermi v závislosti od charakteru jednotlivých scenárov klimatickej zmeny.

Zmeny vo výskyte chorôb, škodcov a burín

Teplota patrí k najdôležitejším faktorom prostredia ovplyvňujúcim biologické systémy patogénov a živočíšnych škodcov rastlín. Je regulátorom intenzity ich reprodukčných procesov, a tým aj ich výskytu a stupňa škodlivosti. Pri vyšších teplotách v budúcnosti

sa predpokladá vyšší výskyt hniloby jadrového ovocia spôsobený hubou *Monilia fructigena*, múčnatky viniča, múčnatky jablonovej, vyšší výskyt vírusových ochorení. Pre výskyt škodcov majú význam teplotné extrémny zimy. Nízke teploty v zime znižujú napr. výskyt vrtivky čerešňovej, ale aj iných škodcov. Vysoká vlhkosť vzduchu a pôdy môže naopak podporovať výskyt vošiek ako prenášačov šarky sliviek. Otepľovanie spôsobí zvýšenie vzhádzania semien a plodov z hlbších vrstiev pôdy, zvýši sa podiel teplomilných druhov burín, predpokladá sa zmena účinnosti herbicídov.

Rámcové adaptačné opatrenia na zmiernenie dôsledkov zmeny klímy

Opatrenia smerujúce na jednej strane k využitiu pozitívnych a na druhej strane k redukcii negatívnych účinkov zmeny klímy v poľnohospodárstve sú orientované najmä na:

- Prepracovanie technológií pestovania plodín. V súčasnej agronómii sa volá po návrate tzv. trvalo udržateľného systému hospodárenia bez extrémov a pádov, systému s prirodzenou obnovou úrodnosti pôdy bez znehodnocovania životného prostredia. Zdôrazňuje sa znižovanie zásahov do pôdy a optimalizácia termínov uplatnenia jednotlivých operácií.
- Prepracovanie agroklimatickej rajonizácie a štruktúry pestovaných druhov a odrôd. Cieľom je najúčinnéjšie využitie prirodzených zdrojov, hlavne radiačnej bilancie a vodného režimu. Bude potrebné rešpektovať tiež základné organizačné a ekonomické hľadiská.
- Prepracovanie šľachtiteľských zámerov. Šľachtitelia a genetici sa musia orientovať na šľachtenie odrôd a hybridov produkčného typu s väčším dôrazom na adaptabilitu proti biotickým a abiotickým stresom. To umožní vyšľachteným odrodám menej citlivo reagovať na extrémne teploty, sucha či choroby. Pri šľachtení je potrebné uprednostniť znaky zvyšujúce príjem živín (koreňový systém), intenzitu a produktivitu fotosyntézy. Osobitná pozornosť sa musí venovať rajonizácii osív a sádív.
- Ochrana plodín. V ochrane plodín sa treba orientovať predovšetkým na biologickú ochranu a prepracovanie integrovanej ochrany.
- Regulácia vodného režimu melioráciami. Vybudované závlahové systémy, najmä v južných častiach Slovenska, je potrebné využívať najmä na produkciu zelenín a teplomilných ovocných druhov. Naliehavá

je rekonštrukcia odvodňovacích systémov a ich údržba.

- Nové prístupy k výžive rastlín. Najvýznamnejší pozitívny účinok na toleranciu rastlín proti nedostatku vody má aplikovanie organických hnojív v kombinácii s priemyselnými hnojivami, najmä dusíkatými. Samotná výživa dusíkom vedie k zmenšovaniu obsahu humusu v pôde, a tým k zhoršovaniu jej fyzikálnych i chemických vlastností.

- Regulácia vodného a energetického režimu porastu mulčovaním. Najmä v záhradníckej praxi sa ukázalo, že mulčovací fólie, resp. mulčovací netkané textilie sú vhodnými prostriedkami na zvyšovanie účinku vody dodanej do pôd. Zároveň môžu byť regulátorom energetického režimu porastu, a tým aj zvýšenej biologickej aktivity pôdy.

- Nové postupy v regulácii zaburinenosti. V regulácii rozširovania burín sa bude zdôrazňovať obmedzovanie herbicídov. To bude vyžadovať komplex opatrení pri ich potláčaní vychádzajúcich predovšetkým zo štruktúr porastov, striedania plodín v oševných postupoch, racionálneho spracovávania pôdy, preventívnych opatrení k obmedzovaniu zdrojov zaburiňovania pôdy a pod.

- Opatrenia smerujúce proti vodnej a veternej erózii. Z protieróznych opatrení je vhodné využívať najmä zvyšovanie podielu krmovín na ornej pôde, zatrávňovanie plytkých svahových pôd medziradia v sadoch, viniciach a chmelniciach, aktualizovanie ochranných lesných pásov a úprava štruktúry a súdržnosti pôdy.

- Opatrenia v oblasti vzdelávania a zvyšovania povedomia obyvateľstva.

Lesné ekosystémy a lesné hospodárstvo

Zmena bioklimatických podmienok lesných spoločenstiev

Zmena bioklimatických areálov sa skúmala pomocou indexov teploty vzduchu a vodnej bilancie (IT, IQ), ktoré predstavujú najdôležitejšie klimatické faktory vo vzťahu k lesným spoločenstvám (pozri prílohu, s. 14 - 15).

Výsledky na úrovni celej plochy lesov Slovenska sa realizovali pre tri vybrané lesné dreviny smrek, jedľa a buk. Z hodnotenia jednoznačne vyplýva, že už v súčasnosti je najmä u smreka a jedle nesúlad medzi ich bioklimatickými nárokmi a skutočným výskytom. Markantne sa to prejavilo v hodnotách pre podmienky klimatickej zmeny, kde v stupni 3 - 5 indexu IT sa nachádza 71 % plochy smreka, 82 % plochy jedle a 32 % plochy buka. Index IQ signalizuje najväčšie zmeny pre buk na jeho dolnej hranici.

Výsledky dendroklimatického modelovania ukázali že:

- Budúci prírastok bude mať vo všeobecnosti stúpajúci trend a vplyv skúmaných dvoch modifikácií scenárov vývoja zrážok (CCCMprep -RR1 a CCCMprep -RR3) na prírastok je takmer rovnaký;

- Určujúcim faktorom rastového procesu bude teplota vzduchu;

- Negatívne na zmenu klímy bude reagovať 11,5 % stromov, reakcie 34,6 % stromov možno považovať za nezmenené a 53,9 % stromov by malo na predpokladané klimatické zmeny reagovať pozitívne, a to všetko pri 95 % štatistickej spoľahlivosti;

- Predpokladaná zmena klímy najintenzívnejšie ovplyvní porasty na hornej hranici lesa vo vyšších nadmorských výškach.

Predpokladaný vývoj slovenských lesov na základe modelových odhadov

Uvedené modelové výsledky umožňujú určité zovše-

obecnenie týchto výsledkov vo vzťahu k perspektívam výskytu a ďalšieho pestovania lesných drevín v oblasti západných Karpát z pohľadu prognózovaných klimatických zmien. Sumarizované výsledky sú prezentované v tabuľke 4 (pozri prílohu, s. 15).

Zmena klímy a škodlivé činitele v lesoch Slovenska

Lesy v nížinách a pahorkatinách (približne 1. - 3. vs.) bude ohrozovať hlavne sucho. Následne sa očakáva šírenie stepných spoločenstiev na úkor dubín. Čoraz častejšie budú požiare, a to hlavne v borinách. Paradoxne, pravdepodobne vzrastú škody spôsobené potopami na brehových porastoch a v lužných lesoch. V nížinách a pahorkatinách stúpne význam huby *Dothistroma septospora*, ktorá spôsobuje červenú sypavku borovice čiernej, ohrozená je však aj borovica lesná. Na vlhkých a teplých stanovištiach môžu byť ohrozené duby, gaštan jedlý a buky hubami *Phytophthora cinnamomi* a *P. cambivora*. V dôsledku zvýšeného stresu drevín stúpne význam tracheomycózných húb na duboch (*Ceratocystis*, *Ophiostoma*) a na javoroch (*Verticillium*). Vážne poškodenia môžu byť spôsobené na topoloch rakovinovým ochorením spôsobovaným hubou *Cryptodiaporthe populea*. Podkôrniky na boroviciach a čiastočne aj menej významné druhy podkôrníkov na listnatých drevinách sa vplyvom suchého a tepleho počasia začnú systematicky premnožovať. V južných oblastiach možno predpokladať najintenzívnejšiu inváziu nepôvodných druhov hmyzu z mediteránnej oblasti. K najrizikovejším patria niektoré druhy koníkov (napr. *Dociostaurus maroccanus*), ale aj ďalšie druhy listožravých druhov motýľov čiastočne aj vošky. Vytvorí sa priaznivé podmienky pre aktivizáciu domácich teplomilných druhov.

Stredné a horské polohy (4. - 6. vs.) bude poškodzovať vietor, ale aj sneh a námraza. V týchto lesoch možno očakávať rozsiahle škody spôsobené nedostatkom zrážok, a to hlavne smreka. V dôsledku klimatických zmien je možné očakávať nárast agresivity podpŕhovky (*Armillaria spp.*), v tejto súvislosti aj rozsiahle kalamity spôsobené týmto druhom v smrečinách. Podobne bude stúpať význam hnilôb koreňov spôsobovaných hubami *Heterobasidion annosum* a *Stereum sanguinolentum*. Stúpne význam húb z rodu *Nectria*, ktoré budú ohrozovať najmä bukové porasty v stredných polohách. Oslabenie porastov najmä smrekových,

rastlinnými patogénmi zvýši ich predispozíciu na poškodenie podkôrníkovitými. V smrekových monokultúrach do 6. vegetačného stupňa možno očakávať časté gradácie podkôrníkovitých najmä v smrečinách, ako dôsledok znižovania vitality smrečín, resp. ako dôsledok poškodenia porastov vetrom. Predpokladá sa, že synergické pôsobenie komplexu škodlivých činiteľov vyvolá rozsiahle hynutie smrečín a ich masový ústup zo stredných polôh. Listožravý hmyz a cicavé druhy z nižších polôh začnú v dôsledku zmeny klímy prenikať do stredných polôh (najmä niektoré teplomilnejšie druhy). Vzhľadom na konkurenčné prostredie však bude trvať istú dobu pokiaľ sa tu plne udomácnia. Zvýšenú aktivizáciu treba očakávať u druhov škodiacich na voľných plochách, napr. novozaložené porasty.

Vysokohorské lesy (7. a 8. vs.) ovplyvní najmä nedostatok vlhky a neprirodzená distribúcia zrážok vo vegetačnom období. Následky budú najakútnejšie v preriedených a imisiami oslabených smrečinách. Pravdepodobne aj tu budú vznikať rozsiahle vývraty v prípade kombinácie víchrice a intenzívnych dažďov. Z uvedených príčin bude v horských smrečinách pretrvávajúť problém s prirodzenou obnovou (expansion trávových spoločenstiev a nedostatok vlhky a extrémna klíma pre prežívanie semenáčikov). Klimatické extrémny, často aj v kombinácii s imisiami, budú fyziologicky oslabovať porasty kosodreviny. Ich prípadný rozpad by mal katastrofické následky na existenciu hornej hranice lesa (lavíny, erózia pôdy, narušený vodný režim a pod.). V horských smrečinách 7. vegetačného stupňa možno v súvislosti s narastajúcim poškodzovaním porastov vetrom a imisiami očakávať premnoženia agresívnych druhov podkôrníkovitých, s výnimkou strmých severných svahov a inverzných dolín. Zimné výkyvy počasia (najmä teplé, slnečné zimné počasia) môžu oslabovať dreviny (úpall, fyziologické sucho) a vyvolávať predčasné rašenie a následné škody mrazom. Oslabené dreviny budú napádané širším spektrom škodcov, ktorých gradácie budú intenzívnejšie. Očakávať treba aktivizáciu najmä domácich druhov obaľovačov, piadiviek a blanokrídlovcov. Aktivita vošiek v tejto oblasti bude mať stúpajúci trend najmä u druhov ako *Dreyfusia nordmanniana*, *Sacchiphantes viridis*.

Výňatok z materiálu operatívnej porady

Ministerstva životného prostredia SR, Bratislava 15. 3. 2007



foto: Tomáš Kopečný